

# РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙКИ СПЕКТРОМЕТРОВ ЭПР/ОДМР ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА



Работа поддержана Министерством образования и науки России в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы". Государственный контракт N 02.513.12.3031, 2008 - 2009 годы.

"РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ В 3 ММ ДИАПАЗОНЕ (94-96 ГГц) С ОПТИЧЕСКИ ДЕТЕКТИРУЕМЫМ СИГНАЛОМ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА (ОДМР), РЕГИСТРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА (ЭПР) И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ НАНОСТРУКТУР НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ"

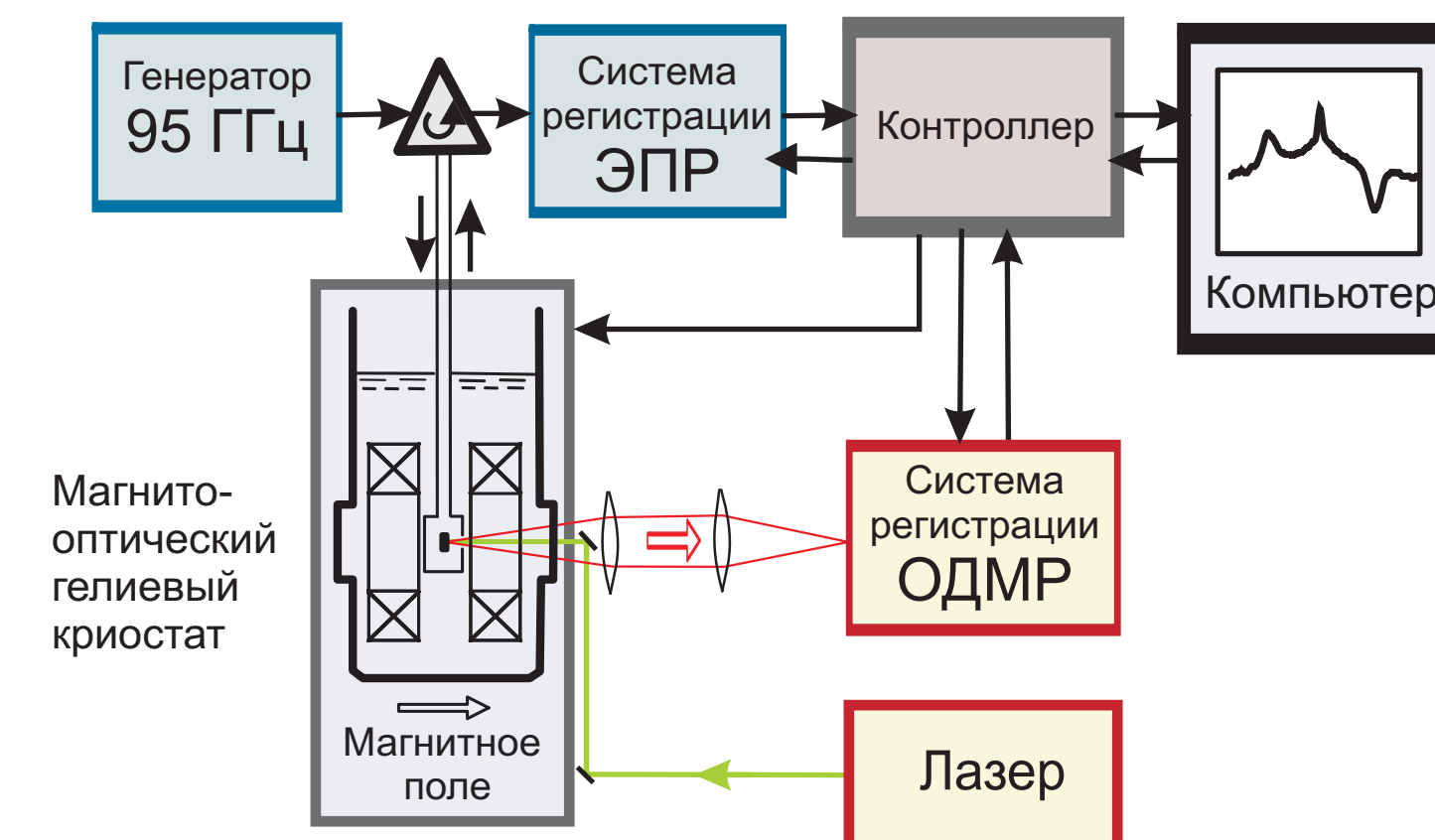
Магнитный резонанс был открыт Завойским в Казани в 1944 году, высокочастотный электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) был разработан в институте Химической физики в Москве, ряд оптических методов в магнитном резонансе был открыт в ФТИ им. А.Ф.Иоффе, импульсные методы в ЭПР были развиты в Новосибирске и, тем не менее, в России нет отечественной приборной базы по магнитному резонансу. Задача проекта - создание такой приборной базы, основанной на новых принципах, отличающихся от зарубежных разработок.

Основная мировая тенденция радиоспектроскопии - переход к высоким микроволновым частотам и сильным магнитным полям, что значительно повышает спектральное разрешение и чувствительность, а использование оптического канала для регистрации магнитного резонанса позволяет довести чувствительность вплоть до регистрации одиночных спинов.

## Преимущества увеличения рабочей частоты :

- высокое спектральное разрешение
- увеличение чувствительности, особенно для малых образцов, включая нанообъекты;
- высокое разрешение анизотропных свойств исследуемых систем, что принципиально для порошковых объектов
- достижение высоких бальмановских факторов, играющих определяющую роль во многих физических спин-зависимых процессах.

## Блок-схема спектрометра ЭПР/ОДМР

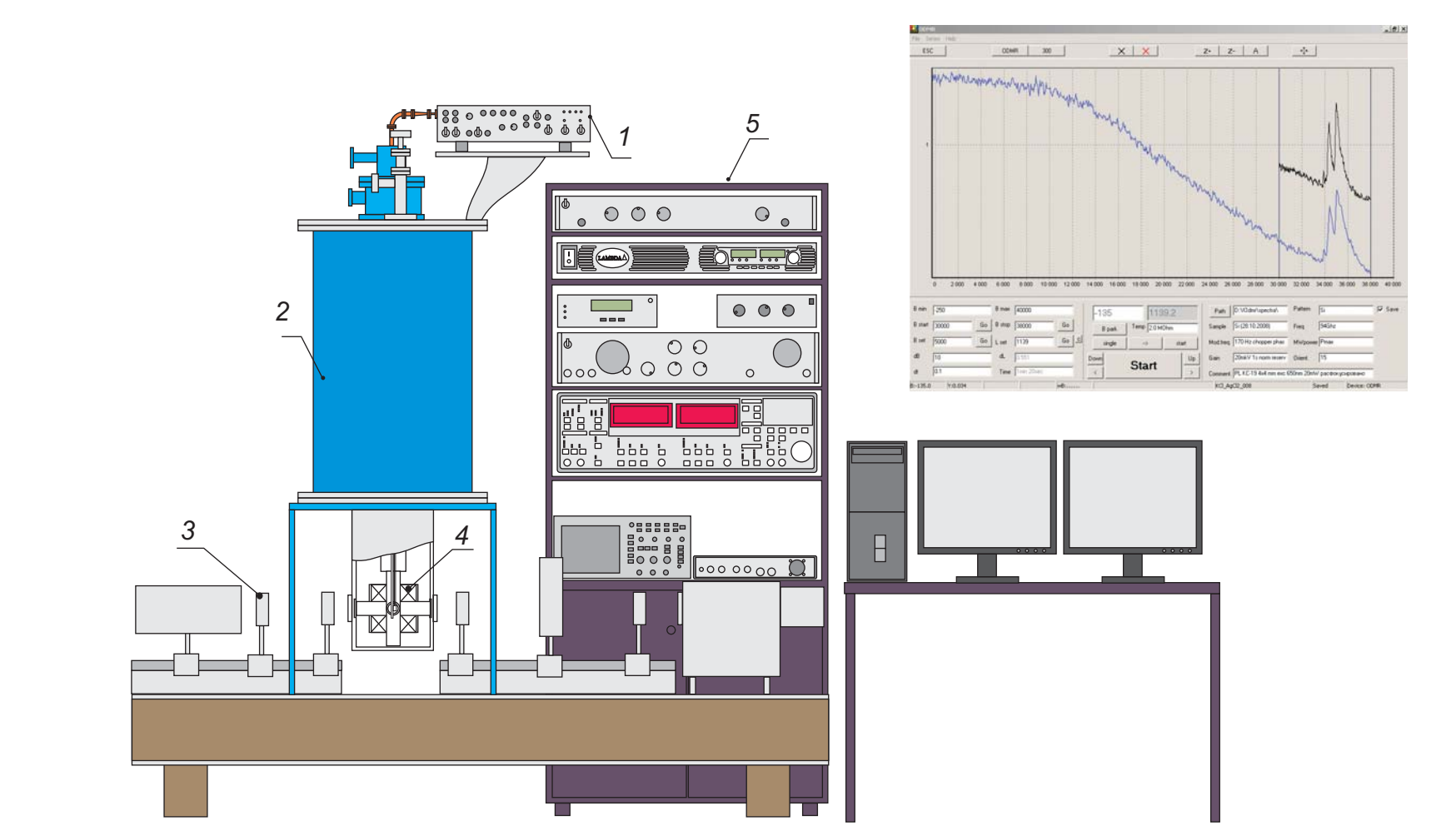


Характеристики спектрометра

Рабочая частота 94 ГГц  
Магнитное поле 0 - 6 Тл  
Температура 1.5 - 300 К

## Состав спектрометра

- 1 - микроволновый блок (8, 4, 3 или 2 мм), работающий в непрерывном и импульсном режимах
- 2 - криомагнитная система
- 3 - оптическая система с монохроматором, источником возбуждения и системой регистрации люминесценции
- 4 - перестраиваемый микроволновый резонатор с элементами настройки и согласования
- 5 - приборная стойка с контроллером для управления работой установки и регистрации спектров



## Основные элементы спектрометра

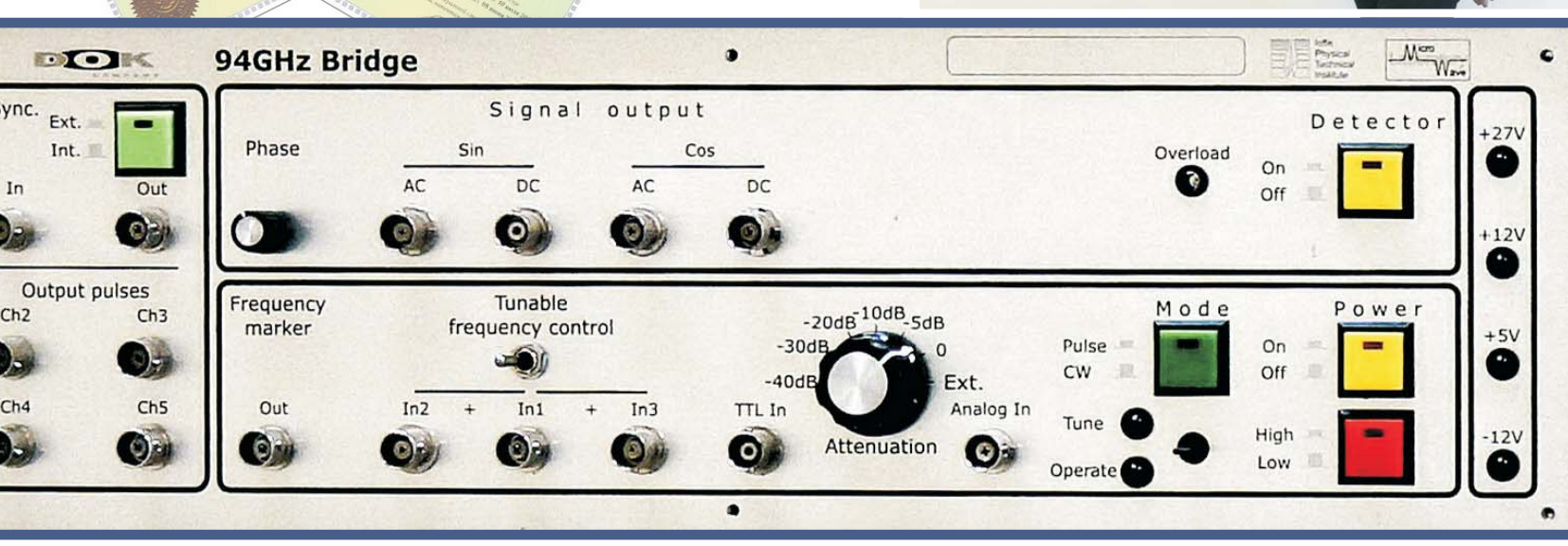
Элементы волноводного тракта и рабочие резонаторы спектрометра



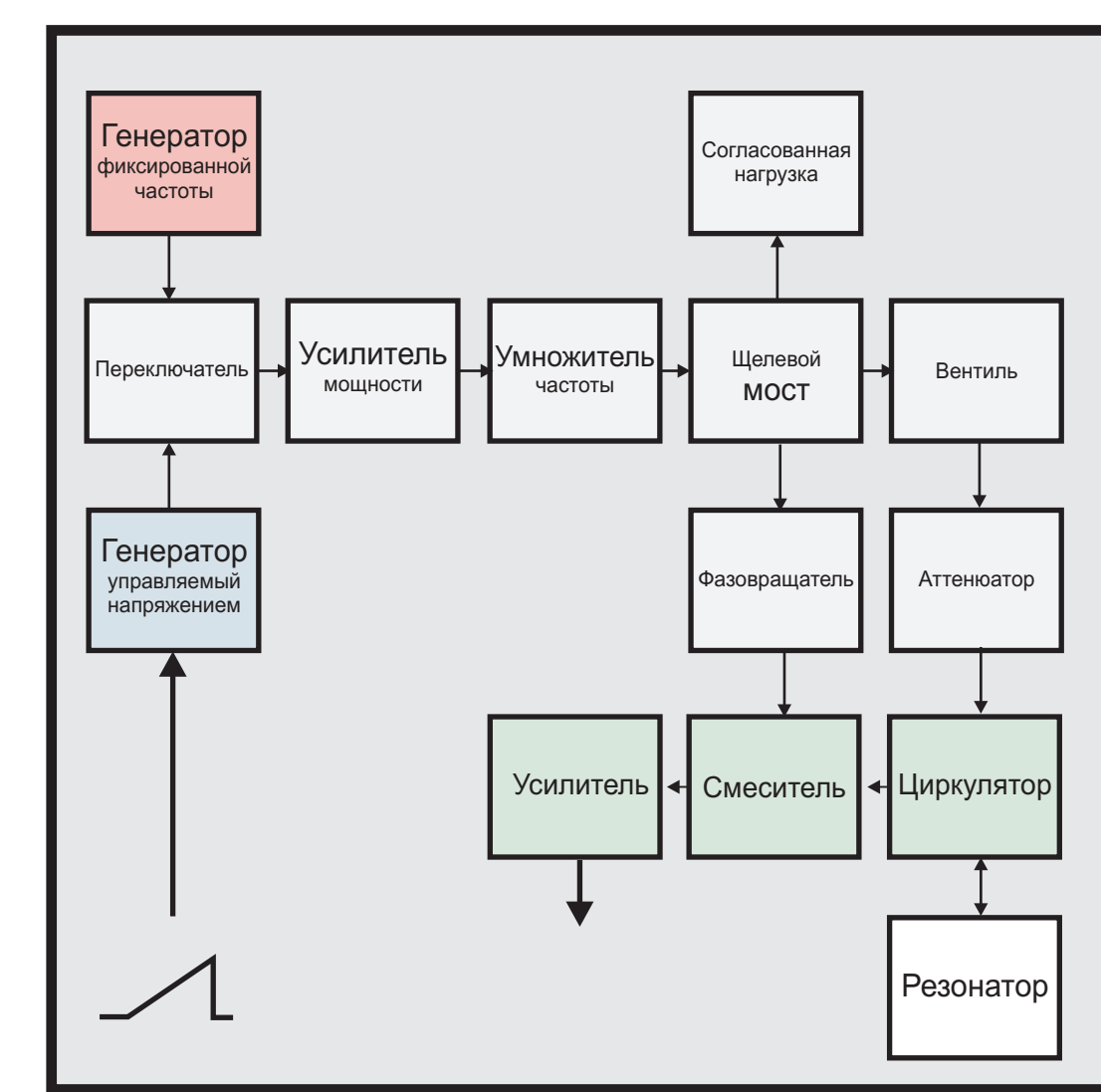
- 1 - микроволновый блок 94 ГГц с супергетеродинамным приемником;
- 2 - сверхтонкий детектор;
- 3 - блок питания сверхпроводящего магнита;
- 4 - осциллограф;
- 5 - контроллер (блок управления);
- 6 - магнитооптический кристалл;
- 7 - упрощенная версия микроволнового блока 94 ГГц;
- 8 - монохроматор;
- 9 - усилитель модуляции;
- 10 - блок питания ФЭУ;
- 11 - низкочастотный генератор;
- 12 - мониторы;
- 13 - высокочастотный цифровой осциллограф.

## Микроволновый блок спектрометра ЭПР/ОДМР 94 ГГц

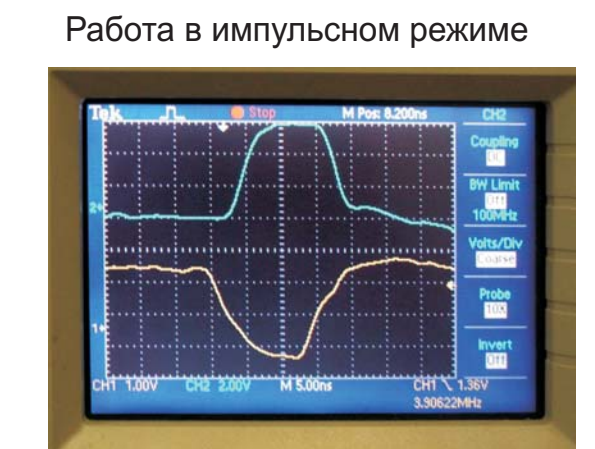
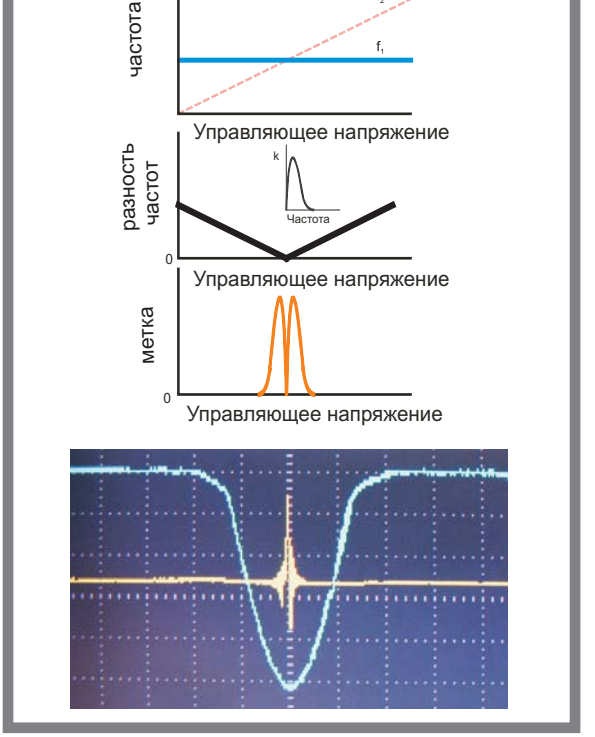
- сверхвысокая стабильность ( $4 \times 10^{-11}$ ) и высокая выходная мощность (до 200 мВт)
- чувствительный супергетеродинамный приемник с квадратурным детектированием
- компактность, эффективная и наглядная система настройки микроволнового тракта;
- импульсный режим для электронного спинового эха (разрешение 2.5 нсек)
- на единой платформе будет построена линейка микроволновых блоков для спектрометров 35, 70, 94 и 140 ГГц



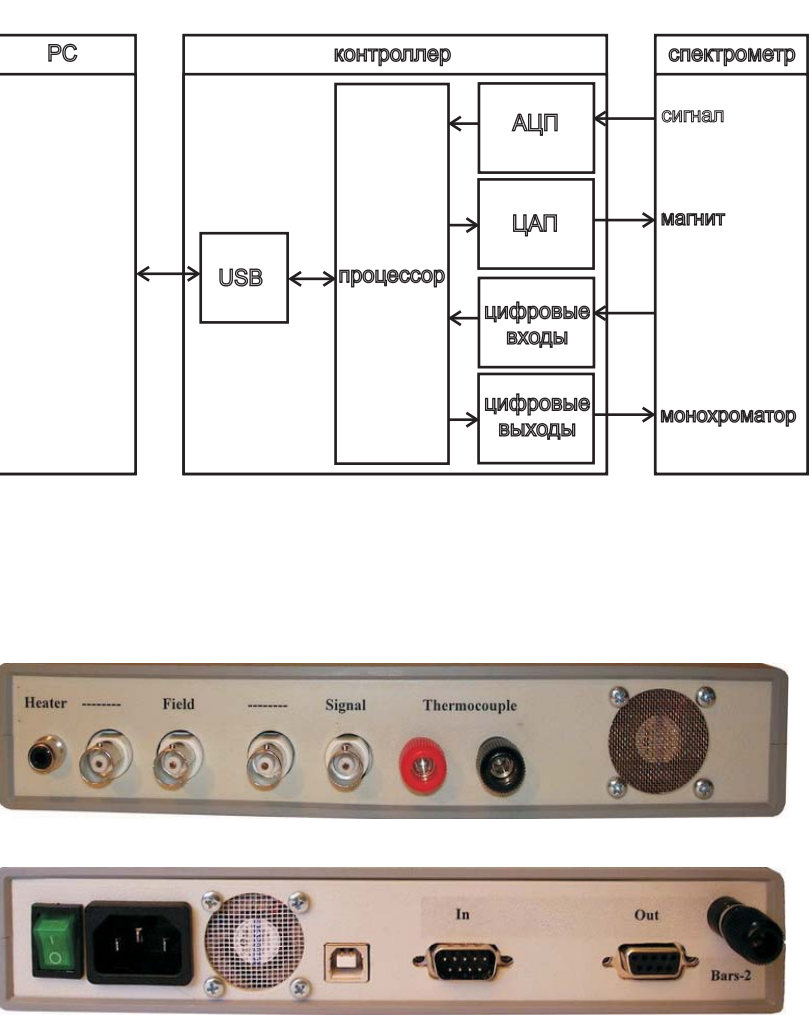
## Упрощенная блок-схема микроволнового блока



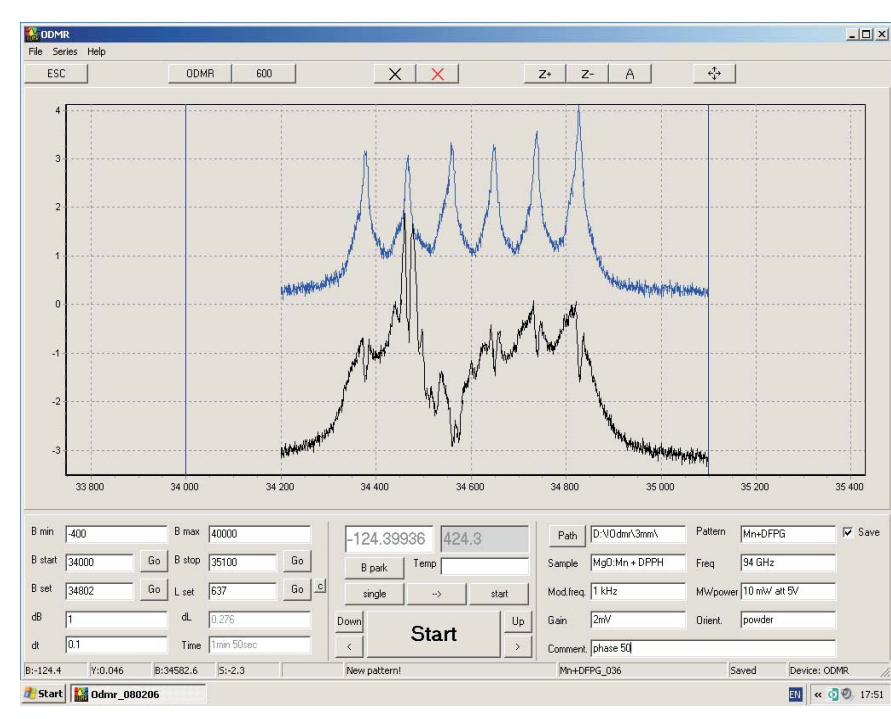
## Настройка рабочего резонатора



## Блок-схема и внешний вид контроллера



## Интерфейс рабочей программы

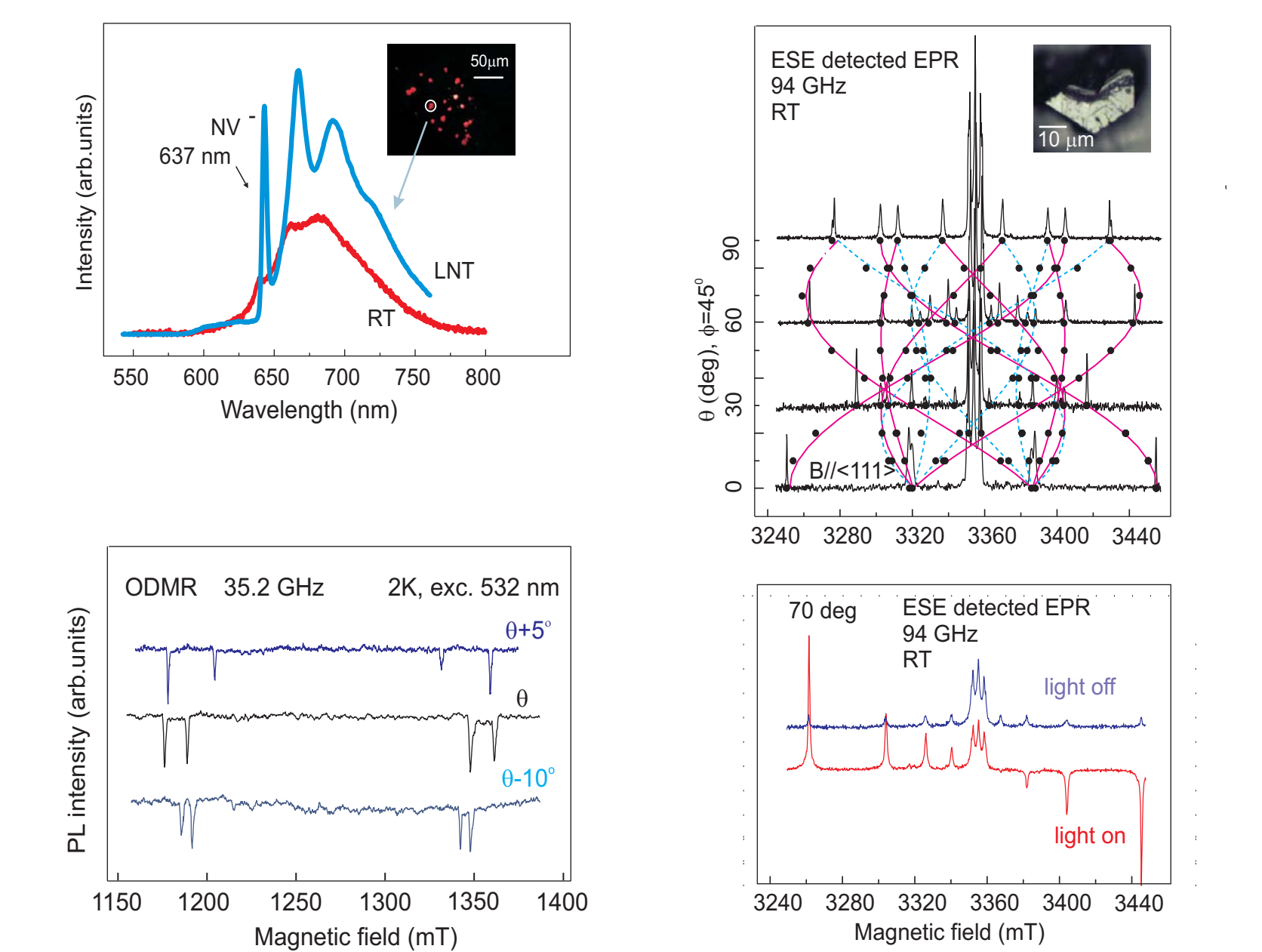


## ПЕРСПЕКТИВЫ : СОЗДАНИЕ ЛИНЕЙКИ СПЕКТРОМЕТРОВ ЭПР/ОДМР 35 ГГц, 78 ГГц, 94 ГГц, 140 ГГц НА ЕДИНОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ НАНО- И БИОТЕХНОЛОГИЙ

## ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ЭПР/ОДМР

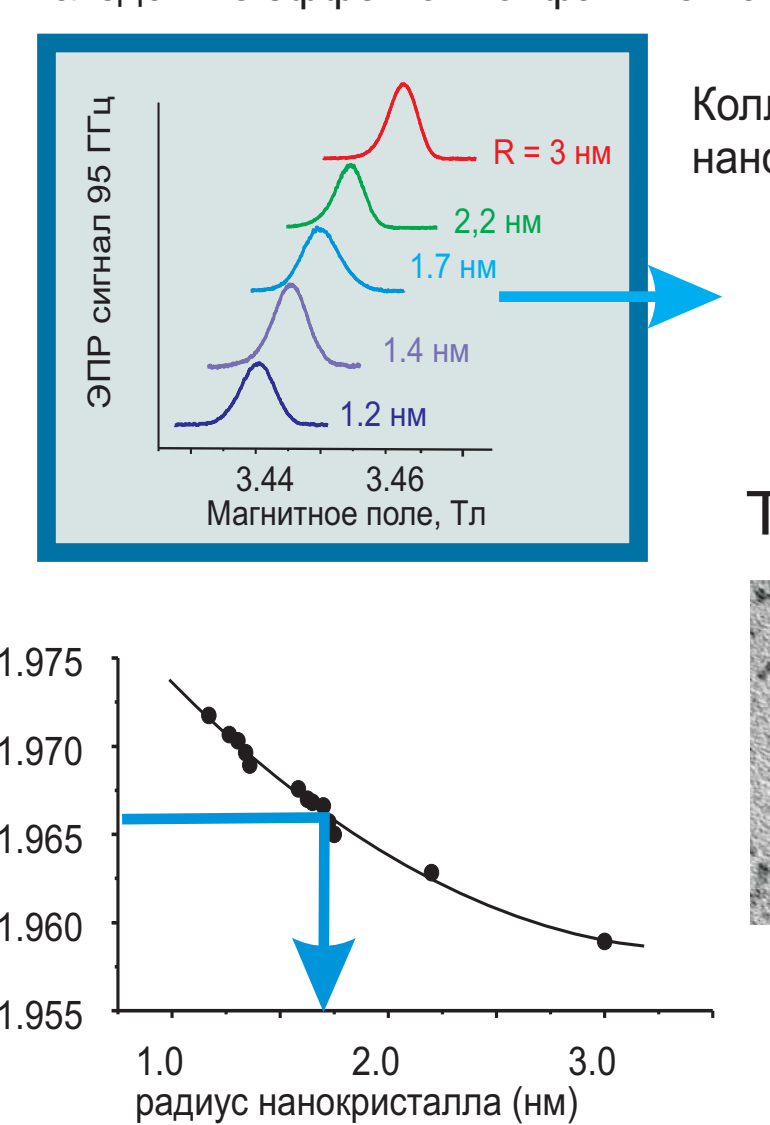
### NV дефекты в нанокристаллах алмаза

Разработаны методы ЭПР/ОДМР диагностики наноматериалов и на их основе обнаружена гигантская концентрация люминесцентных азотно-вакансионных (NV) дефектов в спеченном дотационном наноалмазе, являющимся идеальным биосовместимым материалом (технология получения наноалмазов разработана в лаборатории А. Я. Вуля). Материал перспективен для создания чувствительных магнетометров с микро- и наноразмерным разрешением.

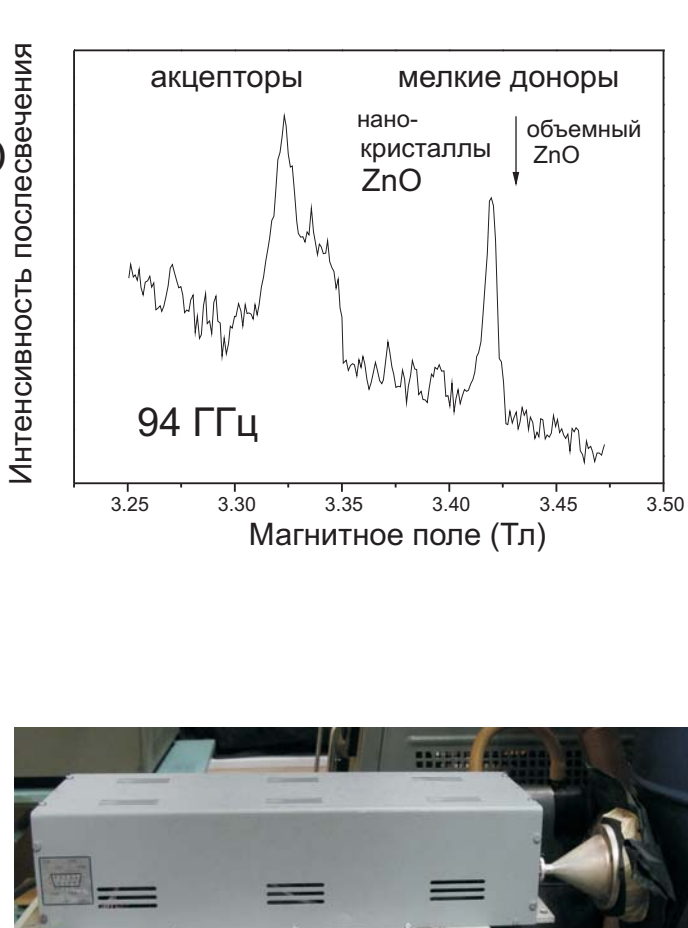


## 94 ГГц ЭПР и ОДМР для диагностики размера нанокристаллов

Сдвиг электронного g-фактора вследствие эффектов конфинемента

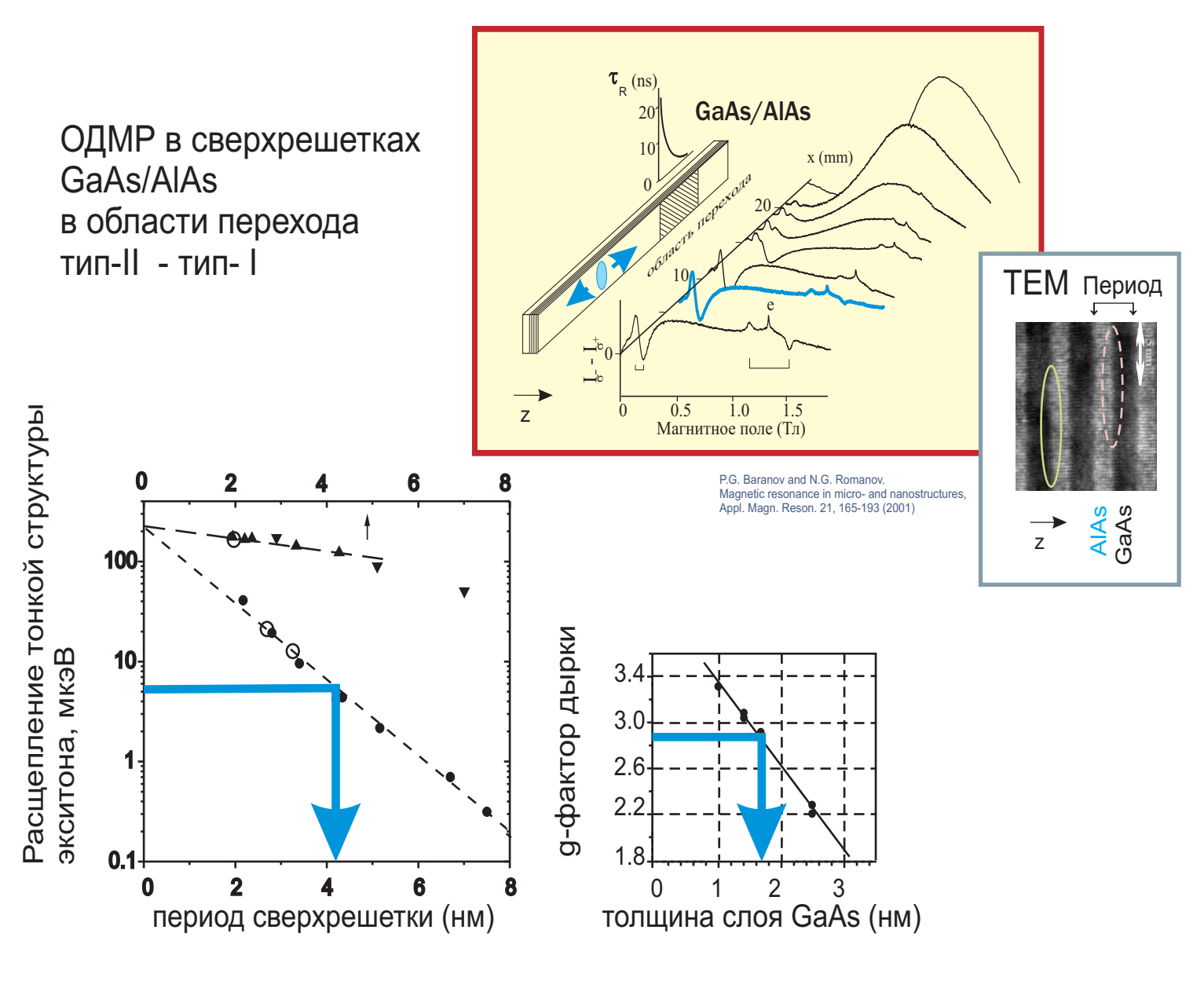


### ОДМР 94 ГГц



## ОДМР для локальной диагностики параметров сверхрешетки

ОДМР в сверхрешетках GaAs/AlAs в области перехода тип-II - тип-I



## Пространственно селективный оптически детектируемый циклотронный резонанс (ОДЦР) в кремнии

